

Frühjahrstagung der Physikalischen Gesellschaft in Bayern und des Fachausschusses „Halbleiter“ in Erlangen

Die Frühjahrstagung der Physikalischen Gesellschaft in Bayern fand heuer in Verbindung mit dem Fachausschuß „Halbleiter“ des Verbandes Deutscher Physikalischer Gesellschaften in Erlangen vom 25. bis 28. April 1960 statt. Die Tagung begann mit den Vorträgen des Fachausschusses, die über den Kreis seiner Mitglieder hinaus großes Interesse fanden.

Die anschließende Tagung der Physikalischen Gesellschaft in Bayern eröffnete der Vorsitzende, Prof. E. Krautz, der eine große Zahl von Mitgliedern und Gästen, z. T. auch aus Ostdeutschland und aus dem Ausland, herzlich begrüßen konnte. In Ehrerbietung gedachte er Herrn Prof. Dr. Max von Laues, dessen Ableben kurz zuvor bekanntgeworden war. Die versammelten Physiker brachten ihre tiefe Trauer darüber zum Ausdruck.

Das nachstehend abgedruckte Programm gibt einen Überblick über die gegebenen Vorträge.

Zu Beginn der Sitzung des Fachausschusses begrüßte sein Leiter, Prof. F. Sauter, neben vielen Gästen unter starkem Beifall des Auditoriums den Altmeister der Halbleiterphysik in Deutschland und Begründer des Fachausschusses, Herrn Prof. Dr. W. Schottky, als Ehrengast der Tagung.

Im ersten Hauptreferat behandelte Herr G. Lautz die elektrischen Eigenschaften der Halbleiter bei tiefen Temperaturen, wobei er im besonderen auf die beiden Probleme der Störbandleitung und des anomalen Verhaltens bei hohen elektrischen Feldern einging. Anschließend referierte Herr G. H. Jonker über seine gemeinsam mit Herrn S. van Houten durchgeführten Untersuchungen betreffend das Halbleiterverhalten einer Reihe von Oxyden der Übergangsmetalle. Im nächsten Referat über die physikalischen Methoden zur Störstellenanalyse beim Silizium ging Herr A. Hoffmann u. a. sehr ausführlich auch auf die Praxis und die Theorie des Zonenreinigens ein. Es folgte ein ausführliches Referat von Herrn F. Stöckmann über die Strom-Spannungskennlinien sogenannter Ohmscher Kontakte bei Halbleitern und Isolatoren, wobei der Referent insbesondere auf die Verhältnisse bei Anreicherungsrandschichten einging und dabei auf gewisse Analogien mit dem Raumladungsgebiet bei Gasen hinwies. Herr F. W. Dehmelt ging in seinem Referat über neuere Entwicklungen auf dem Gebiete der Kristalldioden und Transistoren besonders auf die parametrische Diode, die Tunnel diode, die Vierschichtdiode und den Tunneltransistor ein. Herr F. Kuhrt befaßte sich in seinem Referat über technische Anwendungen des Halleffektes vorwiegend mit dem Hallgenerator und seinen verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten, etwa zur Magnetfeldmessung, zur Messung hoher Gleichströme über deren Magnetfeld, zur kontaktlosen Signalgabe und zur Abfragung von Magnetogrammen, sowie als Multiplikator bei Wattmetern und in elektronischen Rechenanlagen. Herr U. Birkholz referierte über Fortschritte in der Entwicklung halbleitender Thermoelemente gegenüber dem von Herrn G. Lautz in seinem Heidelberger Referat (1957) geschilderten Stand und be-

schäftigte sich besonders mit der Herstellung und Messung thermoelektrischer Substanzen. Schließlich gab Herr *F. Lüty* einen Überblick über neuere Ergebnisse betreffend die Elektronenübergänge an Farbzentren in Ionenkristallen, wobei durch Einbringen definierter Störungen aus den Beobachtungen ein geschlossenes Bild über diese Prozesse und eine Bilanz der strahlenden und der strahlungslosen Elektronenübergänge gewonnen wurde.

An diese acht zusammenfassenden Referate schlossen sich über 20 Kurzvorträge über die verschiedensten Probleme der Halbleiter- und Phosphoreszenzphysik an, unter denen die Vorführung eines Films über Feld- und Strominhomogenitäten in Festkörpern durch Herrn *K. W. Böer* und zwei Demonstrationsvorträge der Herren *P. Brauer* und *W. Stürmer* besonderes Interesse fanden.

Die übrigen 35 Einzelvorträge behandelten vor allem Probleme aus dem Gebiet der Röntgenphysik, Festkörperphysik, Tieftemperaturphysik, Gasentladungen, Optik und des Ferromagnetismus.

Am Abend des 26. 4. fanden sich die Tagungsteilnehmer zu einem gemeinsamen Abendessen in dem idyllisch gelegenen Waldschießhaus zusammen, so daß auch der Geselligkeit Raum gegeben war.

Zum Abschluß der Tagung dankte der Vorsitzende den Vortragenden, Diskussionsrednern und dem Leiter des Fachausschusses, Herrn Prof. *F. Sauter*. Besonderer Dank wurde auch dem Ortsausschuß, Herrn Prof. *E. Mollwo* und seinen Mitarbeitern, für die mühevollen Arbeit der Organisation der Tagung ausgesprochen.

J. O. Brand, München

MONTAG, DER 25. APRIL 1960

Vormittag

Zusammenfassende Vorträge

Vorsitz: *F. Sauter* (Köln)

G. LAUTZ (TH Braunschweig): *Elektrische Eigenschaften der Halbleiter bei tiefen Temperaturen.*

Reine Störstellenhalbleiter zeigen bei tiefen Temperaturen Abweichungen von den zu erwartenden exponentiellen Zunahmen des elektrischen Widerstandes und der *Hall*-Konstanten. In kleinen elektrischen Feldern tritt parallel zur normalen Elektrizitätsleitung eine Störbandleitung auf, bei der Ladungsträger von Störstelle zu Störstelle wandern können. Messungen der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes, des *Hall*-Effektes, der Beweglichkeit, der magnetischen Widerstandsänderung, der Thermokraft und der Dielektrizitätskonstanten sind qualitativ im Zweibändermodell deubar. Der Einfluß der Minoritätsstörstellen steht in Einklang mit theoretischen Ansätzen von *Mott* und *Kasuya* und führt zu einer Unterscheidung verschiedener Arten der Störbandleitung bei großen und kleinen Majoritätsstörstellendichten, wobei gegebenenfalls auch eine Überlappung von Stör- und Leitungsband möglich ist. — In stärkeren elektrischen Feldern ist bei tiefen Temperaturen ein reversibler elektrischer Durchschlag oft schon bei einigen V/cm beobachtbar, dessen Deutung durch eine Stoßionisation neutraler Störstellen durch hochbewegliche Ladungsträger gelingt. Messungen der Feldstärkenabhängigkeit des elektrischen Widerstandes, der *Hall*-Konstanten, der Beweglichkeit und der Schwankungserscheinungen weisen eindeutig auf eine Ladungsträgervermehrung im Volumen des Halbleiters hin. Der Einfluß eines Magnetfeldes auf die Durchschlagsfeldstärke und die Transportphänomene im Durchschlagsgebiet stimmt mit Theorien von *Franz* und *Frie* gut überein. Aus Untersuchungen des An- und Abklingens der Stoßionisationslawinen ergeben sich Aussagen über Rekombinations- und Er-

zeugungsmechanismen. Die außergewöhnlich kurzen und feldstärkenabhängigen Zeitkonstanten ermöglichen die praktische Anwendung des Tieftemperaturdurchschlages für Schalter-, Speicher- und Impulsverstärkerzwecke.

G. H. JONKER und S. VAN HOUTEN (Philips, Eindhoven/Holl.): *Semiconducting properties of transition metal oxides*. (Vorgetr. von G. H. Jonker)

In this survey a number of measurements will be discussed which lead to a fairly simple phenomenological description of the electronic energy levels of transition metal ions in their oxidic compounds. The following points are of interest:

1) The 3d electron shells of the metal ions are incompletely filled. Nevertheless the pure stoichiometric oxides are insulators.

2) A fairly high conductivity is found in non-stoichiometric compounds or in compounds containing small amounts of foreign ions with deviating valency. The conductivity shows in the extrinsic region a rather constant high value of the activation energy ($q > 0.1$ eV).

3) The thermoelectric power (Seebeck effect) at roomtemperature can be represented by $\Theta = (k/e)\ln(N/n)$, where n is the impurity concentration and N has an experimental value of about 10^{22} cm⁻³.

4) By measurements at low temperatures a value of 0.02—0.05 eV is found for the distance between impurity level and conduction levels, quite different from the value of the activation energy of the conductivity.

It is concluded that the normally used band picture of electron levels has to be replaced by a picture consisting of localized levels.

A method for the calculation of the energy level diagram will be discussed. Literature: K. Hauffe, Halbleiter probleme I, 107 (1954); F. J. Morin, „Semiconductors“, edited by H. B. Hannay (1958).

A. HOFFMANN (Siemens-Pretzfeld): *Physikalische Methoden zur Störstellenanalyse beim Silizium*.

Die Güte hochreinen Siliziums wird in erster Linie nach dem restlichen Störstellengehalt beurteilt. Dabei ist man weitgehend auf physikalische Untersuchungsmethoden angewiesen, weil chemische Nachweise wegen der extremen Verdünnung im allgemeinen versagen.

Eine Analyse der nach dem Zonenziehen gemessenen Konzentrationsverläufe $c(x)$ längs der Stabachse erlaubt es, zwischen reinem Zieheffekt (d. h. Verschleppen der Verunreinigungen nur in Längsrichtung) und Abdampfen der Störstellen zu unterscheiden. Mit Hilfe der theoretisch bekannten Konzentrationsverteilungen [W. G. Pfann, Trans. AIME 194, 747 (1952); G. Ziegler, Z. f. Metallkunde 49, 491 (1958)] kann der Verteilungskoeffizient k und die Abdampfgeschwindigkeit g einer unbekannten Verunreinigung bestimmt werden; andererseits sind die Werte wenigstens des Verteilungskoeffizienten k für eine Reihe von Fremdelementen in Si bekannt [J. A. Burton, Physica 20, 845 (1954)]. Durch Vergleich kann manchmal die unbekannte Verunreinigung identifiziert werden.

Umfangreichere Informationen liefert eine Analyse von Halleffektmessungen, eine Methode, mit der Pearson und Bardeen [Phys. Rev. 75, 865 (1949)] sowie später Morin und Maita [Phys. Rev. 96, 28 (1954)] wesentliche Aufschlüsse über Störstellen im Silizium gewonnen haben. Aus dem Temperaturgang der „Reservezweige“ ergeben sich die Ablösearbeiten (Energieniveaus) der Störstellen; daneben lassen sich die Konzentrationen quantitativ ermitteln. Die Auswertung wird durch Einbeziehen der entsprechenden Massenwirkungskonstanten wesentlich erleichtert.

Untersuchungen von Collins, Carlson und Gallagher [Phys. Rev. 105, 1168 (1957)] an n-leitendem Silizium mit Goldzusätzen werden als Beispiel für einen Halbleiter mit einer über der Bandmitte gelegenen Akzeptorstörstelle

behandelt. Hier lassen sich die beiden Aktivierungsenergien zwischen Akzeptor-Leitungsband sowie zwischen Akzeptor-Valenzband und damit die volle Bandbreite des Siliziums bestimmen.

Nachmittag

Vorsitz: H. Rothe (Karlsruhe)

F. STÖCKMANN (Inst. f. angew. Physik d. TH Karlsruhe): *Strom-Spannungs-Kennlinien „Ohmscher“ Kontakte bei Halbleitern und Isolatoren.*

In einen Halbleiter oder Isolator mit nur einer Sorte von beweglichen Ladungsträgern können mit nachliefernden Kontakten Majoritätsträger injiziert werden. Sie gewinnen einen merklichen Einfluß auf die Strom-Spannungs-Kennlinie, wenn bei zunehmender Feldstärke ihre Laufzeit durch den Halbleiter hindurch kleiner wird als seine dielektrische Relaxationszeit. Dann wächst der Strom stärker als linear mit der Spannung. Das Referat ist ein zusammenfassender Bericht über die bis jetzt gewonnenen theoretischen und experimentellen Kenntnisse. Speziell werden diskutiert der Null-Widerstand von Halbleitern mit nachliefernden Kontakten, die Injektion in einen Halbleiter ohne Haftstellen, Kennlinien von Halbleitern mit Haftstellen und von den experimentellen Ergebnissen vor allem die Zusammenhänge mit der Photoleitung.

F. KUHRT (Siemens, Nürnberg): *Technische Anwendung des Hall-Effektes.*

Hallgeneratoren sind neuartige Halbleiter-Bauelemente. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Hall-Effekt. Die für Hallgeneratoren geeignetsten Halbleiterstoffe sind die intermetallischen Verbindungshalbleiter Indiumantimonid und Indiumarsenid. Sie liefern hohe Hallspannungen bei gleichzeitig hoher Halleistung. Hallgeneratoren sind symmetrische Vierpole. Ihr elektrisches Verhalten ist durch die beiden Leerlaufwiderstände und den Kernwiderstand eindeutig bestimmt.

Entsprechend den beiden Steuergrößen können die technischen Anwendungen der Hallgeneratoren in 3 Gruppen eingeteilt werden. In die erste Gruppe fallen die Anwendungen, bei denen der Hallgenerator von einem konstanten Strom erregt wird. Hierher gehören die Magnetfeldmessung, die Messung hoher Gleichströme, die kontaktlose Signalgabe, die statische Abfrage von Magnetogrammen und die Verwendung des Hallgenerators als Potentialtrenner und Leistungsverstärker. — Bei der zweiten Anwendungsart befindet sich der Hallgenerator in einem konstanten Magnetfeld und die Steuerung erfolgt durch den Steuerstrom (Gyrator, Zirkulator). — Schließlich wird bei den Anwendungen der 3. Gruppe der Hallgenerator unter Ausnutzung seiner multiplikativen Eigenschaften von zwei veränderlichen Steuergrößen gesteuert.

F. W. DEHMELT (Telefunken Ulm): *Neuere Entwicklungen auf dem Gebiete der Kristalldioden und Transistoren.*

DIENSTAG, DER 26. APRIL 1960

Vormittag

Zusammenfassende Vorträge

Vorsitz: F. Trendelenburg (Erlangen)

U. BIRKHOLZ (Siemens Nürnberg): *Fortschritte in der Entwicklung der Halbleiter-Thermoelemente.*

Die Eigenschaften der Halbleiterthermoelemente konnten in den letzten Jahren durch verfeinerte Theorie, sorgfältigere Präparation sowie durch

Auffinden neuer Substanzen wesentlich verbessert werden. Neben der elektrothermischen Kühlung findet auch die thermoelektrische Erzeugung elektrischer Energie in zunehmendem Maße Interesse. Die Temperaturabhängigkeit der wichtigsten thermoelektrischen Eigenschaften (Thermokraft, elektr. Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit) wird für einen Modellhalbleiter für verschiedene Bandabstände unter Berücksichtigung der Entartung durchgerechnet, indem die Fermienergie aus der Ladungsträgerbilanz durch Näherungsverfahren ermittelt wird. Bei einem Bandabstand von 0,15 eV (z. B. Bi_2Te_3) beginnt der Einfluß der Eigenleitung bereits bei Zimmertemperatur, so daß bei höherer Temperatur infolge Reduzierung der Thermokraft und Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit die thermoelektrische Effektivität stark abfällt. Für die Herstellung der thermoelektrischen Substanzen ist das Normal-Freezing-Verfahren (evtl. mit anschließender Temperung) besonders geeignet, da im allgemeinen nur gute Kristallisation, nicht aber ein zusätzlicher Reinigungseffekt erforderlich ist. In vielen Fällen kann auch das pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung der Thermoelementschenkel angewendet werden.

Im Zimmertemperaturbereich werden hohe Effektivität mit Substanzen aus dem System $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ und $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ erzielt (für den p-Typ bis zu $x = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Grad}^{-1}$). Bei höheren Temperaturen können Verbindungen wie PbTe , $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Sb}$ sowie $\text{A}^{\text{III}} \text{B}^{\text{V}}$ -Verbindungen eingesetzt werden. Um eine weitere Verbesserung der Thermoelemente zu erreichen, müssen Halbleiter mit extrem niedriger Wärmeleitfähigkeit (wie z. B. AgSbTe_2) und hinreichend großer Breite der verbotenen Zone gefunden werden. Die Anisotropie der Substanzen muß theoretisch und experimentell untersucht werden. Auch viele technologische Probleme wie Kontaktierung, Oxydation und Sublimation sind noch nicht befriedigend gelöst.

F. LÜTY (TH Stuttgart): *Elektronenübergänge an Farbzentren.*

Vormittag

Einzelvorträge

Vorsitz: W. Franz (Münster)

H. VOLZ und M. HEIM (Inst. f. Theor. Phys. d. Univ. Erlangen): *Zur Behandlung des Fermigases mit Wechselwirkung.* (Vorgetr. von M. Heim)

Der Grundzustand des Fermigases läßt sich auf Grund einer mathematischen Identität darstellen als ein Nebeneinander von räumlich gekoppelten Paaren von Teilchen mit entgegengesetzten Spins. Es wird gezeigt, daß sich an diesen „Zweierrgruppen“ eine Störungsrechnung ansetzen läßt. Für abgeschirmte Coulombwechselwirkung wird die Störung des Grundzustandes sowie die Störungsenergie in 2. Näherung berechnet.

J. RUDOLPH (OSRAM-Studiengesellschaft, Augsburg): *Über die elektrische Leitfähigkeit polykristalliner Oxyde.*

Der Leitfähigkeitscharakter einiger valenzgesättigter Oxyde in Form von Sinterkörpern (SnO_2 , GeO_2 , Y_2O_3 , MoO_3 , WO_3 , V_2O_5 , U_3O_8 und CuO) wird in bezug auf die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von Temperatur, Sauerstoffdruck und Zusätzen anderswertiger Kationen zusammen mit Thermokraftmessungen zwecks Bestimmung des Trägervorzeichens untersucht.

An Hand der Ergebnisse dieser sowie einer früheren Untersuchung wird der Zusammenhang von Leitungstyp bzw. Gitterfehlordnung mit der Bildungswärme der Oxyde diskutiert, wobei insbesondere die Anomalien des Leitfähigkeitsverhaltens einiger Oxyde (WO_3 , UO_3 , CuO) behandelt werden.

G. ZIEGLER (Forschungslab. d. Siemens & Halske AG, München): *Zur Versetzungsbildung beim tiegelfreien Zonenschmelzen.*

Beim tiegelfreien Zonenschmelzen von Silizium nach den üblichen Methoden ist die Versetzungsdichte wesentlich höher als beim Tiegelziehen. Die hierfür maßgebenden Mechanismen und die Möglichkeit ihrer Beeinflussung werden diskutiert.

Unter bestimmten Bedingungen läßt sich, unter Ausnutzung des von W. C. Dash beim Tiegelziehen beobachteten Verarmungseffektes [J. Appl. Phys. 30 459 (1959)] völlige Versetzungsfreiheit erzielen.

G. WINSTEL (Forschungslab. d. Siemens & Halske AG, München): *Zur Theorie der Tunneldiode.*

In der von Esaki angegebenen Beziehung für den quantenmechanischen Tunnelstrom in extrem hochdotierten p-n-Übergängen tritt für den Platzwechsel ein *Fermi-Dirac*-Integral besonderer Form auf, das geschlossen nicht auswertbar ist. Es wurden für alle praktischen Fälle ausreichende Näherungen angegeben und an Hand der gewonnenen analytischen Ausdrücke der Einfluß verschiedener Parameter auf die Charakteristik des Tunnelstroms diskutiert.

M. MICHELITSCH (STANDARD ELEKTRIK LORENZ AG, Nürnberg): *Der Einfluß von Wärme- und Ätzbehandlung auf die elektrischen Eigenschaften von Ge-Tunneln.*

Es wurde der Einfluß der Legierungstemperatur und der Einlegierungszeit auf den Höckerstrom, Talstrom, Höcker- und Talspannung und Stromverhältnis besprochen. Die größten Höckerströme, Talspannungen und Stromverhältnisse werden bei relativ niedrigen Legierungstemperaturen und kurzen Einlegierungszeiten erreicht. Durch Ätzen der Tunnel-Dioden-Elemente (Querschnittsverkleinerung des p-n-Überganges) wird die Talspannung und das Stromverhältnis vergrößert. Die Ergebnisse wurden am Beispiel von Germanium-Tunnel-Dioden (Galliumdotiert, Sn-As-Umdotierungspillen) im Einzelnen diskutiert.

Nachmittag

Vorsitz: O. Madelung (Marburg)

G. ARLT (Allgemeine Deutsche Philips Industrie G.m.b.H., Zentrallab. Aachen): *Der Halleffekt-Gyrator.*

Der Gyrator ist ein Vierpolelement mit nichtreziproken Übertragungseigenschaften. Gyratoren, die mittels Halleffekt verwirklicht werden, sind weitgehend frequenzunabhängig. Durch geeignete Kontaktierung und Speisung der Hallplättchen sowie bei Benutzung von Halbleitern mit hoher Trägerbeweglichkeit wird der Halleffektgyrator ein sehr verlustarmes Element. Mit Hilfe dieses Elementes lassen sich Einwegleiter mit geringer Vorwärtsdämpfung und sehr hoher Rückwärtsdämpfung bauen.

H. A. SCHELL (TeKaDe, Nürnberg): *Messungen an Germanium-Bikristallen.*

An Germanium-Bikristallen wurden folgende Kristall- und Halbleiterparameter gemessen: Orientierung, Neigungswinkel, Versetzungsdichte, elektr. Widerstand und Lebenszeit der Minderheitsträger. Ferner wurde an Korngrenzen-Photozellen aus diesen Kristallen die photoelektrische Empfindlichkeit gemessen. Ihr Zusammenhang mit den obigen Parametern wird diskutiert.

G. SCHWABE (TeKaDe, Nürnberg): *Zur Abhängigkeit des Stromverstärkungsfaktors α' vom Emittorstrome.*

Das dotierungsbedingte el. Feld in der Basis eines Drifttransistors wird mit wachsendem Emittorstrome durch Überschwemmung der Basis mit Ladungsträgern abgeschwächt. Dieser auf den Emittorstromeabhängigkeit und auf die Oberflächenrekombination sich auswirkende Vorgang wird durch eine Funktion beschrieben, welche im Grenzfalle großer Stromdichten in die von Webster für den Diffusionstransistor angegebene übergeht. Daraus läßt sich für die Abhängigkeit des Stromverstärkungsfaktors α' vom Emittorstrome eine Beziehung ableiten, welche bei großen Strömen mit der für den Diffusionstransistor bekannten Formel übereinstimmt und bei kleinen Strömen das unterschiedliche Verhalten von Drift- und Diffusionstransistoren zeigt.

H.-J. HENKEL und R. GREMMELMAIER (Forschungslab. d. Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen): *GaAs-Tunneldioden.* (Vorgetr. von H.-J. Henkel)

Es wird über neue Ergebnisse an GaAs-Tunneldioden berichtet. Dioden, deren Strommaximum bei mehreren Ampere liegt, können hergestellt werden. Das Verhältnis von Strommaximum zu Stromminimum ist in günstigen Fällen größer als 45:1. Infolge der relativ großen Breite der verbotenen Zone verläuft das Stromminimum verhältnismäßig flach.

E. KLEIN (Forschungslab. d. Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen): *Dynamische Kennlinien von Tunneldioden bei Eigenschwingungen.*

Tunneldioden eignen sich bekanntlich wegen ihrer teilweise fallenden Kennlinie als Schwingungserzeuger. Sinusschwingungen stellen hierbei einen Sonderfall der üblicherweise auftretenden Kippschwingungen dar.

Die Abhängigkeit der bei Kippschwingungen auftretenden Kennlinie von äußeren Schaltmitteln wird anhand einiger Oszillogramme diskutiert.

W. CZULIUS (Forschungslab. d. Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen): *Halbleiter-p-n-Übergänge als Teilchenzähler.*

Seit kurzem werden Ge- und Si-p-n-Übergänge als Zähler für einzelne geladene Teilchen (Protonen, Deuteronen, ^3He , α und Spaltstücke) verwendet. Ihre Vorteile gegenüber Zählrohren, Ionisationskammern, Szintillationszählern sind: geringstes Volumen bis weit unter 1 mm³, sehr hohes Auflösungsvermögen bis 1%, sehr geringe Impulsdauer bis 10⁻⁹sec, Arbeiten ohne Zählspannung und ohne Füllgas. Der Nachweis von β -Teilchen ist möglich, das Auflösungsvermögen bisher aber schlecht. Neutronen können mittels Spaltung oder (n, α)-Prozessen gezählt werden.

K. BÖKE (Allgemeine Deutsche Philips Industrie G.m.b.H., Zentrallab., Hamburg): *Kapazitätssmessungen an der Grenze Silizium-Elektrolyt.*

An der Grenzfläche Silizium-Elektrolyt bildet sich im Silizium eine reguläre Sperrschicht aus, die u. U. die gesamte angelegte Spannung übernimmt. Das zeigt folgende Beobachtung: Steigert man die zwischen einer dünnen Silizium-Probe und einem Elektrolyten angelegte Sperrspannung, so nimmt die Kapazität dieses Kontaktes sprunghaft ab, wenn sich die beiden Raumladungsgebiete in der Mitte der Probe treffen.

Vorsitz: F. Stöckmann (Karlsruhe)

K. W. BÖER (Humboldt-Universität, Berlin): *Feld- und Strominhomogenitäten in Festkörpern.*

Es wird gezeigt, daß der Feld- und Stromverlauf in homogenen Halbleitern und Isolatoren bei hohen elektrischen Belastungen inhomogen ist. Die Ursachen dieser Inhomogenitäten werden diskutiert. Es kann gezeigt

werden, daß der Feldverlauf bei hoher Feldbelastung dem einer Niederdruckgasentladung (Kathodenfall) weitgehend verwandt ist. Bei hohen Strombelastungen bilden sich kanalförmige Bereiche hoher Stromdichte, deren Temperatur beträchtlich über der benachbarter Bereiche liegen kann. Hierdurch auftretende mechanische Verspannungen können schließlich zum Bruch des Kristalls führen. An CdS-Einkristallen sind die Feld- und Strominhomogenitäten mit Hilfe elektro-optischer Effekte direkt sichtbar zu machen. Kinetische Erscheinungen werden in einem Film wiedergegeben.

P. BRAUER (Phys. Inst. d. Univ. Freiburg): *Absorptions-, Erregungs- und Emissionsspektren von mit Tl aktiviertem NH_4Br und das Problem der Tl-Zentren in Alkalihalogeniden.*

Aus dem Verhalten der Reflexions-, Erregungs- und Lumineszenzspektren von $x(\text{TlBr}) \cdot y(\text{NH}_4\text{Br})$, wo x/y von 10^{-5} bis 50 variiert wird, und jeweils beide Modifikationen der Mischkristalle bei der gleichen Temperatur untersucht werden, kann geschlossen werden, daß man es nur bei sehr kleinen Tl-Konzentrationen ($<10^{-4} \text{ TlBr/NH}_4\text{Br}$) mit den Zuständen einzelner, nur durch das Wirtsgitter gestörter Tl^+ -Ionen zu tun hat, wie meist diskutiert wird. Insbesondere fehlt bei über die Schmelze unter Druck hergestellten Präparaten hier die langwellige Absorption und Emission („grüne Bande“). Diese tritt erst bei höheren Tl-Konzentrationen (samt zugehöriger Absorption) hervor, wo die Wahrscheinlichkeitstheoretischen Erwartungswerte für Zentren, die mehr als ein Tl^+ enthalten, groß werden. Deshalb wird die „grüne Bande“ nicht Zuständen einzelner Tl^+ zugeschrieben, sondern Gebieten mit gegenseitiger Wechselwirkung mehrerer Tl^+ -Ionen (Clustern).

E. MOLLWO und **H. STENZ** (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Erlangen): *Über den Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und grüner Lumineszenz-emission von ZnO-Kristallen.* (Vorgetr. von H. Stenz)

Die Lumineszenzausbeute der grünen Emissionsbande in ZnO ist stark von der elektrischen (Dunkel)-Leitfähigkeit σ abhängig. Bei UV.-Anregung bei Zimmertemperatur steigt sie für Leitfähigkeiten von 10^{-3} bis $10^{-1} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ etwa proportional σ , von 10^{-1} bis $10^{+1} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ fällt sie etwa proportional $1/\sigma$. Die Abklingdauer τ der Lumineszenz ist ebenfalls abhängig von σ . Oberhalb $\sigma = 10^{-1} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ fällt sie proportional $(1/\sigma)^{1/2}$ oder steiler, bei niedrigerer Leitfähigkeit bleibt sie konstant. Die Ergebnisse werden durch einen Rekombinationsprozeß gedeutet.

B. ANDRESS (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Erlangen): *Über thermische Elektronen- und Ionenemission von ZnO-Einkristallen.*

Um Aussagen über die Glühemission bei ZnO-Einkristallen verschiedener Dotierung zu machen, wurden die Kristalle im Hochvakuum durch Stromwärme auf Temperaturen von 800 bis 1200°C erhitzt. Mit einer magnetischen Ablenkrichtung konnte zwischen emittierten Elektronen, negativen und positiven Ionen unterschieden werden. Gemessen wurden die Sättigungsstromdichten in Abhängigkeit von der Anodenspannung. Nach dem Verfahren der Richardson-Geraden ergab sich eine Elektronenaustrittsarbeit zwischen 4,4 und 5,1 eV. Ob eine Abhängigkeit der Austrittsarbeit von der Dotierung vorliegt, konnte nicht entschieden werden.

H. LAMATSCH (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Erlangen): *Über die Diffusion von Zink in Zinkoxydeinkristallen.*

Mit Hilfe der radioaktiven Indikatormethode wurde die Selbstdiffusion von Zink in Zinkoxydeinkristallen untersucht. Aus der Dampfphase diffundierte mit ^{65}Zn angereichertes Zink in die Kristalle. Die Erhitzungstemperaturen lagen zwischen 800 und 1200°C , die Erhitzungszeiten zwischen 5 und 2000 Stunden. Durch Abtragen dünner Schichten ließen sich die Konzentra-

tionsverteilungen im Kristall bestimmen. Die daraus berechneten Diffusionskonstanten können in dem untersuchten Temperaturbereich durch die Gleichung

$$D = D_0 e^{-\varepsilon/kT}$$

mit $\varepsilon = 3,32$ eV und $D_0 = 170 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ dargestellt werden. Es wird eine Gegenüberstellung mit Diffusionsmessungen anderer Autoren gegeben.

G. BOGNER (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Erlangen): *Elektronenkonzentration und -beweglichkeit in ZnO-Einkristallen mit definierten Zusätzen.*

Es wurden im Temperaturbereich von 65°K bis 700°K elektrische Leitfähigkeit und Hallspannung an ZnO-Einkristallen, die mit Indium und Kupfer dotiert oder bei hoher Temperatur einem O_2 -Druck ausgesetzt waren, gemessen.

Die Elektronenkonzentrationen für $T = 300^\circ \text{K}$ der gemessenen In-dotierten Kristalle lagen zwischen 7×10^{17} und 6×10^{18} Elektronen/ cm^3 . Die Temperaturabhängigkeit der Elektronenkonzentration dieser Kristalle ist verhältnismäßig gering und verschwindet bei tiefen Temperaturen und höheren Indiumkonzentrationen ganz. Die Hallbeweglichkeit der schwächer dotierten Kristalle ist bei tiefen Temperaturen proportional zu $T^{+3,5}$.

Durch Dotierung der ZnO-Kristalle mit Kupfer oder O_2 wird die Elektronenkonzentration stark herabgesetzt (sie beträgt für $T = 300^\circ \text{K}$ etwa 10^{14} bis 10^{15} Elektronen/ cm^3) und zeigt eine große Temperaturabhängigkeit: Im gemessenen Temperaturbereich ändert sie sich um viele Größenordnungen. Die nach Elektronenkonzentration und Beweglichkeit ausgewerteten Ergebnisse werden mit den bekannten theoretischen Vorstellungen verglichen.

MITTWOCH, DER 27. APRIL 1960

Einzelvorträge

Vormittag

Vorsitz: H. Volz (Erlangen)

M. CARDONA (Laboratories RCA Ltd., Zürich): *Die Temperaturabhängigkeit der effektiven Elektronenmasse in Halbleitern.*

Wegen der temperaturabhängigen Besetzungsdichte der Energieterme kann auch die effektive Masse temperaturabhängig werden, sobald die Energiebänder nicht parabolisch sind. Eine einfache Form für ein nicht-parabolisches Energieband erhält man, wenn man nur die Matrixelemente

des $\overrightarrow{(k.p.)}$ Terms des Hamiltonoperators zwischen zwei Energieniveaus berücksichtigt. Dann erhält man explizite Ausdrücke für die Temperaturabhängigkeit der verschiedenen Mittelwerte der Elektronenmasse. Auf diese Weise wurden Ausdrücke für die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit, Faraday-Drehung und diamagnetischen effektiven Massen für sphärische und elliptische Energieflächen berechnet.

Eine Temperaturabhängigkeit der effektiven Masse rührt auch von der thermischen Ausdehnung des Gitters her. Dieser Effekt kann durch die Druckabhängigkeit des Bandabstandes, der die effektive Masse bestimmt, abgeschätzt werden. Die Summe dieser beiden Effekte wird mit experimentellen Ergebnissen über die Temperaturabhängigkeit der effektiven Massen in Germanium, Silizium und einigen intermetallischen Halbleitern verglichen.

W. RUPPEL (Laboratories RCA, Ltd., Zürich): *Über eine CdS-Analog-Triode.*

Ein idealer Isolator stellt ein elektrisches Analogon zum Vakuum dar, insofern als sich in ihm im thermischen Gleichgewicht keine freien La-

dungsträger befinden. In analoger Weise, wie in der Vakuumröhre Elektronen in das Vakuum injiziert werden und ein Strom fließt, der nur durch die von den Elektronen gebildete Raumladung begrenzt wird, lassen sich auch in einen sehr reinen Isolator-kristall Überschuß-Majoritätsträger aus einem ohmschen Kontakt injizieren. Ein zusätzlicher Sperrkontakt kann dann noch als Gitter wirken. Der Strom wird so ganz analog wie bei einer Vakuumtriode moduliert.

Es wurde über den Aufbau und experimentelle Ergebnisse mit einer Analog-Triode berichtet, bei der ein CdS-Einkristall als Vakuumanalogon diente und elektroneninjizierende ohmsche Kontakte und Sperrkontakte durch aufgedampfte Indium- und Tellurschichten erhalten wurden.

W. STÜRMER (Siemens-Reiniger-Werke AG, Erlangen): *Röntgenbildwandlung mit Halbleitern.*

Bei Einwirkung von Strahlung auf Halbleiter können verschiedene Effekte auftreten: Elektronenanregung, Elektronenpolarisation, Elektronenemission (äußerer Photoeffekt) und Freisetzung von Elektronen im Halbleiter (innerer Photoeffekt). Der letztgenannte Effekt wird auf verschiedene Weise zur Sichtbarmachung eines Strahlenreliefs, insbes. eines Röntgenstrahlenreliefs verwendet: in Abtaströhren, bei der Xerographie und beim Festkörperbildwandler. Auf die verschiedenen Prinzipien wird kurz eingegangen und dann über Bauelemente des Festkörperbildwandlers, Ergebnisse mit Versuchsausführungen und Anwendungen berichtet.

G. SAUERMANN und A. HAUG (Inst. f. theor. Phys. der TH München): *Zur Behandlung des Mehrkörperproblems der Festkörperphysik.* (Vorgetr. von G. Sauer mann)

Theoretisch läßt sich der Festkörper als ein gekoppeltes System von Elektronen und Atomkernen auffassen. Um daraus geeignete Gleichungen für die Elektronen und Kerne allein zu erhalten, geht man gewöhnlich von der Existenz einer periodischen Kristallstruktur aus. Demgegenüber wird hier gezeigt, daß man allein unter der Voraussetzung kleiner Kernimpulse eine Elektronengleichung ableiten kann, in der eine Rückwirkung der Kerne zum Ausdruck kommt. Gleichzeitig folgt, daß die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Kerne um Gleichgewichtslagen konzentriert ist, die bei monoatomaren Gittern im einfachsten Falle periodisch sind.

K. SCHULZ und E. FICK (Inst. f. theor. Phys. der TH München): *Elektronenterme von Kristallen mit mehreren Gitterteilchen in der Elementarzelle.* (Vorgetr. von K. Schulz)

Die Struktur der Energieterme und Spektren der Elektronen von Molekülkristallen und Kristallen von Ionen mit nichtabgeschlossenen Schalen sind bei mehreren Gitterteilchen (= Moleküle bzw. Ionen) pro Elementarzelle durch die Symmetrie der Zelle gegeben. Die durch die Symmetrie der Lage der einzelnen Gitterteilchen bedingten Bethe-Terme spalten unter dem Einfluß der Wechselwirkung zwischen den Gitterteilchen einer Zelle auf. Unter der Annahme, daß der Grundzustand der Bethe-Terme totalsymmetrisch ist, wurde diese Aufspaltung von Davydov [J.E.T.P. USSR, 18, 210 (1948)] und Winston [J. Chem. Phys. 19, 156 (1951)] bestimmt.

Es wird gezeigt, wie im allgemeinen Fall, der auch eine Entartung des Grundzustands der Lage einschließt, die Anzahl und Vielfachheit der Zellenzustände aus den Lagetermen auf gruppentheoretische Weise gewonnen werden können, indem die der Zellsymmetrie angepaßten Linearkombinationen von Produkten der Lagefunktionen der einzelnen Gitterteilchen aufgesucht werden.

L. MERTEN (OSRAM-Studiengesellschaft, Augsburg): *Über die Frequenzen und die Polarisierung der langen optischen Gitterschwingungen in Kristallen vom Wurtzittyp.*

Aus der Theorie der Gitterschwingungen folgt, daß in Kristallen mit Wurtzitstruktur neun optische Gitterschwingungen auftreten. Hier soll nur der besonders wichtige Grenzfall der langen Wellen ($\lambda \rightarrow \infty$) betrachtet werden. In diesem Grenzfall entsprechen drei von ihnen den optischen Schwingungen im Zinkblendegitter. Da diese im Gegensatz zu den sechs zusätzlichen im Wurtzitgitter ein Dipolmoment besitzen, treten sie im Ultrarotspektrum in Erscheinung. Auf Grund der hexagonalen Symmetrie sollte man jedoch im Gegensatz zum Zinkblendetyp eine Anisotropie des Ultrarotschwingungsspektrums erwarten, wie auch frühere Messungen zu bestätigen schienen. Tatsächlich ist aber nach neueren Messungen die Anisotropie sehr klein. Aus dem Vergleich des atomistischen Aufbaus der beiden Kristallstrukturen läßt sich dieser Befund verstehen.

Bei den ultrarot-inaktiven Schwingungen im Wurtzitgitter ist jedoch eine merkliche Anisotropie zu erwarten. Sie entsprechen den Schwingungen im Zinkblendegitter, deren Wellenzahlvektor auf dem Rande der 1. Brillouin-Zone in der (1, 1, 1)-Richtung liegt. Ihre Frequenzen lassen sich daher durch Vergleich mit dem Zinkblendegitter näherungsweise berechnen, was am Beispiel des Wurtzits (ZnS) explizit gezeigt wird.

H. MOSER und D. STIELER (I. Phys. Inst. d. Univ. München): *Über die Aufnahme der Ramanspektren von Kristallpulvern.* (Voretr. von D. Stieler).

Die in den letzten Jahren durchgeführten Verbesserungen an Kristallpulver-Raman-Anordnungen wurden mit einem Hg-Niederdruck-Brenner mit hoher Leuchtdichte weitergeführt. Die verschiedenen Methoden, lichtstarke Kristallpulver-Spektren aufzunehmen, wurden quantitativ verglichen. Als Testspektrum wurde das Naphthalin-Spektrum verwendet, dessen Wellenzahlen neu vermessen wurden. Es gelang dabei, Linien bis 13 cm^{-1} nachzuweisen, sodaß nun auch in Pulverspektren die Kristallgitter-Schwingungen erfaßt werden können. Eine photoelektrische Registrierung der Spektren erlaubt, quantitative Intensitätswerte der Kristallpulver-Linien anzugeben.

Vorsitz: A. Faessler (München)

R. SIZMANN und W. RUPP (Lab. f. Techn. Phys. d. TH München): *Einbau von Krypton in kristallinen Quarz.* (Voretr. von R. Sizmann)

An kristallinem Quarz wurde untersucht, ob sich Krypton, markiert durch das radioaktive Isotop ^{85}Kr , in Gitterfehlstellen einbauen läßt. Auf Grund der hohen Nachweisempfindlichkeit radioaktiver Strahlung wäre dann eine Möglichkeit gegeben, Aussagen über die Zahl dieser Fehlstellen zu gewinnen, was vor allem für Untersuchungen von Strahlenschäden von Bedeutung wäre.

Es zeigte sich jedoch, daß Krypton merklich nur innerhalb einiger scharf begrenzter und schmaler Temperaturbereiche (um 1000° und 1550°C) in Quarzkristalle eindiffundiert.

Dieser Einbau des Kryptons konnte auf bestimmte Kristallphasenumwandlungen zwischen den polymorphen Strukturen von SiO_2 bei den genannten Temperaturen zurückgeführt werden.

H. G. HÄFELE (OSRAM-Studiengesellschaft, Augsburg): *Über die Absorption des Quarzes im nahen Ultrarot.*

An Quarzkristallen aus verschiedenen Vorkommen sowie an Quarzglas wurden die Absorptionsbanden im Gebiet von $2,5\text{--}3,5\text{ }\mu$ näher untersucht. Sie entstehen in den Quarzkristallen durch Überlagerung mehrerer Einzelbanden, die von verschiedenen Absorptionszentren herrühren. Durch Mes-

sungen mit polarisiertem Licht, Variation der Temperatur zwischen -190° und $+700^{\circ}\text{C}$, durch Bestrahlung im Reaktor und Elektrolyse der Kristalle in verschiedenen Gasatmosphären können die einzelnen Anteile (Absorption durch Gitter-Oberschwingungen, OH-Gruppen und Fehlstellen) voneinander getrennt werden. Zusammenhänge mit den bekannten Farbzentren im Sichtbaren und UV werden diskutiert.

W. MARTH (Lab. f. techn. Phys. d. TH München): *Veränderungen an korpuskular-bestrahlten Kupfer- und Bor-Oberflächen.*

Durch elektronenmikroskopische Vergleichsaufnahmen wurden Veränderungen von Kupfer-Oberflächen bei Beschuß mit α -Strahlen untersucht. Es zeigte sich eine Abnahme der Oberflächenrauigkeit, was auf Diffusion von Zwischengitteratomen zurückgeführt wird. Durch Elektronen- und Röntgenbeugungsversuche war keine Änderung der Linien festzustellen. Dies läßt auf weitgehenden Erhalt der Gitterstruktur schließen. Brinkman-Umlageungsbereiche konnten nicht sichtbar gemacht werden. An ^{10}B -Pulver wurde ein gewisses Zusammensintern der Körner nach Neutronenbestrahlung festgestellt.

W. VON DER OSTEN und W. WAIDELICH (Phys. Inst. d. TH München): *Der Einfluß von Gitterstörungen auf die F-Zentrenbildung in röntgenbestrahltem Natriumchlorid.* (Vorgetr. von W. Waidelich)

In Natriumchlorid wird der Einfluß von Gitterstörungen auf die F-Zentrenbildung bei Verfärbung mit 8 kV-Röntgenstrahlung untersucht. Es zeigt sich, daß bei starken Störungen des Kristallbaus, die sich röntgenographisch erfassen lassen, eine erhöhte Verfärbbarkeit vorliegt. Dies läßt sich durch die begünstigte Bildung von Anionenlücken in Versetzungsgebieten erklären. Der Energieverbrauch für die Bildung von F-Zentren unter den verschiedenen Versuchsbedingungen kann abgeschätzt werden.

A. SCHNEIDER (Phys. Inst. d. TH München): *Die Feinstruktur der Röntgen-K-Absorptionskanten von metall-organischen Chrom- und Eisen-Komplexen.*

Die Feinstruktur der Röntgen-K-Absorptionskanten wurde bei solchen Komplexen untersucht, bei denen an der organischen Komponente eine ganze Reihe von verschiedenen Substitutionen vorgenommen wurde. Dadurch ergaben sich bessere Möglichkeiten, Einzelheiten im Verlauf der Absorptionskurven auf die vorliegenden Moleküleigenschaften zurückzuführen. Bei den Chromkomplexen, mit einem Benzolring als organische Komponente, zeigte sich die Lage der Absorptionsmaxima abhängig von einer symmetrischen bzw. unsymmetrischen Verteilung der Substituenten am Ring. Bei den Eisenkomplexen wurden 1- und 2-kernige Verbindungen mit unveränderten Acetylenkomponenten untersucht. Die Absorptionskurven der 2-kernigen Komplexe zeigten bei höheren Energien eine Ähnlichkeit mit der Absorption des reinen Metalls. Die 1-kernigen Komplexe wiesen in dieser Hinsicht eine auffallende Abweichung davon auf.

E. KEIL, E. ZEITLER und W. ZINN (Phys. Inst. d. Univ. Würzburg): *Zur Einfach- und Mehrfachstreuung geladener Teilchen.* (Vorgetr. von W. Zinn)

Für viele experimentelle Untersuchungen, bei denen ein Strahl geladener Teilchen eine sehr dünne Materieschicht durchsetzt, interessiert zur Anbringung von Korrekturen die Aufstreuung des Teilchenstrahls in der Schicht.

Die auf das Wentzel'sche Verfahren zurückgehenden Ansätze von Molière wurden für mittlere Stoßzahlen $m = 0$ bis 20 (Einfach- und Mehrfachstreuung) ausgewertet. Die Ergebnisse werden mit früheren Arbeiten und bei $m = 20$ mit der Molièreschen Formel für Vielfachstreuung verglichen.

G. HARIGEL (Phys. Inst. d. Univ. Würzburg) und K. SCHULZE (MPI f. Physik München): *Abbremsung und Streuung energiereicher Elektronen in dicken Materieschichten.* (Vorgetr. von K. Schulze)

Es wurde über Versuche berichtet, bei denen Elektronen (15 und 25 MeV) aus dem Würzburger Betatron in eine Blaskammer eingeschossen wurden, die am MPI in München entwickelt wurde.

Der experimentelle Aufbau wurde beschrieben; das Verhalten energiereicher Elektronen bis zur vollständigen Abbremsung wird anhand von Blaskammeraufnahmen erläutert.

D. RÖSS (Phys. Inst. d. Univ. Würzburg): *Ein Proportional-Zählrohr für kleine Quantenenergien.*

Es wurde ein Proportionalzählrohr entwickelt, bei dem die Potentialverteilung an den Enden des Zählbereichs durch Scheiben aus halbleitendem Material festgelegt ist. Dadurch ist das Zählvolumen exakt begrenzt und es entfällt der das energetische Auflösungsvermögen verschlechternde „Endeffekt“.

Vorsitz: E. Mollwo (Erlangen)

M. ECKSTEIN (II. Phys. Inst. d. Univ. München): *Die Helligkeitsverteilung des Himmelslichtes im Bereich von 3600 Å für eine geschlossene Bewölkung, bei der Bienen sich noch nach dem für uns unsichtbaren Sonnenstand orientieren können.* (Vorgetr. von W. Rollwagen)

Photographische Aufnahmen zeigen deutlich eine ca. fünfprozentige Aufhellung, zentralsymmetrisch zur Sonne, die über ein Gesichtsfeld von 10° gleichmäßig auf den Helligkeitswert der Umgebung abfällt. In Parallelversuchen wurde sichergestellt, daß nur Aufnahmen herangezogen wurden, bei denen die Bienen orientiert tanzten.

E. BARBIAN, H. HERRMANN, G. HOFMANN, M. KÖNIGER, K. LUCHNER, M. SCHÖN und F. SCHÜRMEYER (Lab. f. techn. Phys. d. TH München): *Neue experimentelle Untersuchungen an Kristallphosphoren.* (Vorgetr. von M. Schön)

1. Durch gleichzeitige Messung der Temperaturabhängigkeit und der Durchlässigkeit von Leuchtstoffschichten bei konstanter monochromatischer Anregung konnte gezeigt werden, daß die Wiederabnahme der Helligkeit des Leuchtens von einfach aktivierten Sulfidphosphoren bei tiefen Temperaturen bei Anregung im Bereich der Ausläuferabsorption — bei Grundgitteranregung bleibt sie konstant — auf Abnahme der Absorption infolge Störstellensättigung beruht.

2. Aus der Anklingkurve eines vorher sorgfältig ausgeheizten ZnScu-Phosphors läßt sich die Konzentration der Elektronen in den Haftstellen (gespeicherte Lichtsumme) und aus ihrer Temperaturabhängigkeit die Haftenergie bestimmen. Man erhält sie auch aus der Temperaturabhängigkeit der Anklingzeit. Sie ergibt sich übereinstimmend zu 0,23 eV.

3. Das Abklingen von Sulfidphosphoren nach Gleichgewichtserregung wurde vom msec- bis zum Phosphoreszenzbereich bei verschiedenen Temperaturen und Anregungsintensitäten gemessen. Die Anfangsteilheit ist der Konzentration der Elektronen im Leitungsband proportional. Sie nimmt mit der Wurzel aus der Anregungsintensität zu und ändert sich mit der Temperatur entsprechend einer Haftstellentiefe von etwa 0,25 eV.

4. Die Exoelektronenemission von mit β -Strahlen angeregtem natürlichen Flußspat zeigt beim Erhitzen die schon bekannte Parallelität mit der Thermolumineszenz. Unter dem Einfluß äußerer elektrischer Felder (Saugfelder)

tritt sie auch bei Zimmertemperatur auf. Die Kristalle werden durch die Felder polarisiert. Die thermisch sehr stabile Polarisation hat bei Temperaturerhöhung nur Einfluß auf die Elektronenemission im Saugfeld, aber nicht auf die feldfreie Emission. Schwache Lichteinstrahlung ermöglicht bei Zimmertemperatur die Emission, hat aber im Maximum der Thermolumineszenz keinen Einfluß darauf.

5. Mit einer empfindlichen Apparatur für differentielle thermische Analyse konnte im angeregten natürlichen Flußspat die Elektronenspeicherung thermisch nachgewiesen werden.

B. KRAMER (Hunter College and New York University, z. Zt. Lab. f. Techn. Phys. d. TH München): *The Effects of Infrared Radiation on Trapped Electrons in ZnS-Phosphors*. (Vorgetr. von M. Schön)

To determine the number of traps in an excited ZnS phosphor with and without additional infrared radiation, the method of deficiency areas was used. The phosphor was first quenched (heated and exposed to infrared) and then excited by the 3660 Å line of a mercury lamp. The rise curve was recorded. After equilibrium had been reached infrared radiation was added and the equilibrium light emission was found to be reduced (I.R. quenching). The infrared was then removed, and a new rise curve to the old equilibrium value obtained. A comparison of these curves gives the ratios of filled traps in the UV excited phosphor to that of the UV + IR excited phosphor. In the three phosphors investigated to date these ratios are very close to the ratios of the emitted light. Since it is well known that the conductivity of excited ZnS phosphors is strongly decreased by infrared, the experimental results indicate that there is some difficulty with the assumption that the light recombination process is of the form $L = \text{const} \times n \times n_t$ where n and n_t are the densities of electrons in the conduction band and traps, respectively.

J. KNOBLOCH, K. LUCHNER und M. SCHÖN (Lab. f. techn. Phys. d. TH München): *Eine Methode zur kontinuierlichen Messung der Änderung der Kapazität und der Güte eines Leuchtstoffkondensators mit der Anregung*. (Vorgetr. von J. Knobloch)

Photoleitende Phosphore, zwischen den Platten eines Kondensators in ein nichtleitendes Medium eingebettet, stellen ein Dielektrikum mit von der Anregung abhängigem ϵ' und ϵ'' dar, deren Messung den Anregungszustand, wenn auch nur qualitativ, zu verfolgen gestattet (Kallmann und Mitarb.). Zur kontinuierlichen Messung der zeitlichen Änderungen wurde an einem mit dem Kondensator in Serie geschalteten Meßwiderstand Amplitude und Phase des Meßstroms registriert. Hieraus erhält man durch ein einfaches graphisches Verfahren den Gang von ϵ' und ϵ'' .

E. FELDTKELLER (Forschungslab. d. Siemens & Halske AG, München): *Eine anschauliche Darstellung der kohärenten Magnetisierungs-drehung in dünnen ferromagnetischen Schichten*.

Während sich die bisherigen theoretischen Arbeiten über schnelle Magnetisierungs-drehprozesse in dünnen ferromagnetischen Schichten meist nur mit der Ummagnetisierungszeit befaßten, wird hier der ganze zeitliche Verlauf der Ummagnetisierung graphisch dargestellt. Die dabei mitwirkenden Kräfte werden besprochen.

Dazu wird eine graphische Methode entwickelt, nach der sich aus der Richtungsabhängigkeit der Magnetisierungsenergie für jeden Moment die Richtung und Geschwindigkeit der Magnetisierungsänderung bestimmen läßt. Aus dem für ein konkretes Beispiel gezeigten Verlauf erkennt man, daß eine Spindämpfungskonstante $\alpha = 0,02$ genügt, um das Überspringen

praktisch ganz zu unterdrücken, und daß die hohe Ummagnetisierungsgeschwindigkeit der dünnen Schichten auf einer Präzessionsbewegung um das entmagnetisierende Feld senkrecht zur Schichtebene beruht, das bei kleiner Spindämpfung bis in die Größenordnung 100 A/cm geht, wenn das von außen angelegte Schaltfeld wenige A/cm beträgt.

CH. SCHWINK und H. MURRMANN (II. Phys. Inst. d. Univ. München): *Elektronenoptische Messung der Magnetisierung von Stabproben bei kleinen Feldern.* (Vorgetr. von H. Murrmann)

Die Ablenkung von Elektronenstrahlen im Streufeld magnetisierter Stabproben wird untersucht. Bei einer speziellen Probenanordnung — zwei Zylinder, deren Stirnflächen durch einen Spalt senkrecht zur Stabachse getrennt sind (Stabdurchmesser 2 mm, Spaltweite einige $\frac{1}{10}$ mm) — kann wegen der geringen räumlichen Ausdehnung des Streufeldes der gesamte Fluß erfaßt werden. Aus den Meßkurven lassen sich *Absolutwerte* der Magnetisierung für die verschiedenen Spaltweiten ermitteln.

Vorsitz: W. Rollwagen (München)

E. BILLER (II. Phys. Inst. d. Univ. München): *Einfluß der Formanisotropie auf die Linienbreite ferromagnetischer Resonanzkurven.*

Bei der Auswertung der Linienbreite aus ferromagnetischen Resonanzkurven spielt die Formanisotropie eine wichtige Rolle. Es wird ein graphisches Verfahren angegeben, das den Einfluß der Probenform auf die Resonanzkurve in übersichtlicher Weise darstellt. Für $\omega_0 < \gamma 4\pi M_s$ muß dieser Effekt unbedingt sorgfältig beachtet werden.

CH. SCHWINK und G. ZANKL (II. Phys. Inst. d. Univ. München): *Zur Remanenz polykristallinen Nickels.* (Vorgetr. von G. Zankl)

Es wird die Remanenz ausgeglühter, vielkristalliner Nickeldrähte in Abhängigkeit von einer vorher angelegten und wieder entfernten Recklast gemessen. Dabei ergeben sich charakteristische Remanenzkurven, die von der Temperatur und insbesondere der Struktur abhängen, worunter Korngröße, Textur und die Verteilung innerer Spannungen verstanden wird. Der Kurvenverlauf wird qualitativ diskutiert.

J. KRANZ und A. SCHAUER (I. Phys. Inst. d. Univ. München): *Der magnetooptische Kerreffekt an Kobalt und Nickel.* (Vorgetr. von A. Schauer)

Die magnetooptische Kerddrehung von polykristallinem Kobalt und Nickel wurde durch Aufdampfschichten um den Faktor 15 vergrößert. Es gelingt damit eine Sichtbarmachung der magnetischen Elementarbereiche dieser Ferromagnetica.

A. HAUG und W. FENEBERG (Inst. f. theor. Phys. d. TH München): *Zur Ableitung der Londonschen Gleichungen der Supraleitung.* (Vorgetr. von A. Haug)

Die phänomenologische Theorie der Supraleitung beruht im wesentlichen auf den Londonschen Gleichungen, die zusätzlich zur Maxwellschen Elektrodynamik hinzukommen. Es wird gezeigt, daß sich diese Gleichungen aus den Maxwellschen Gleichungen ableiten lassen, wenn man die elektromagnetischen Potentiale einführt und diesen eine geeignete Zusatzbedingung auferlegt. Die Londonschen Gleichungen folgen also in ähnlicher Weise aus der Maxwellschen Theorie wie etwa die Wellengleichung für die elektromagnetischen Potentiale.

R. L. MÖSSBAUER* und W. WIEDEMANN (Lab. f. techn. Phys. d. TH München und Komm. f. Tieftemperaturforschg. d. Bayer. Akad. d. Wiss., München): *Kernresonanzabsorption in ^{187}Re* (Vorgetr. von W. Wiedemann)

Bei fest im Kristallgitter gebundenen Kernen erleiden eine gewisse Anzahl von Quanten beim Emissions- oder Absorptionsprozeß praktisch keinen Energieverlust, da der Rückstoßimpuls vom ganzen Kristall aufgenommen wird. Die Resonanzbedingung ist für diese Quanten ideal erfüllt.** Relativgeschwindigkeiten zwischen Quelle und Absorber bedingen eine Dopplerverschiebung der Emissionslinie gegenüber der Absorptionslinie, wodurch der Resonanzeffekt verschwindet. Es wurden nun Messungen über die Kernresonanzabsorption von nicht durch Doppler-Effekt beeinflussten γ -Quanten in ^{187}Re bei 20 °K angestellt und zwar bei kleinen Relativgeschwindigkeiten zwischen Quelle und Absorber und Geschwindigkeiten bis zu ± 30 cm/s. Aus diesen Messungen ergab sich die Lebenszeit des angeregten 134 keV Niveaus in ^{187}Re zu $(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-11}$ sec.

*) z. Zt. California Institute of Technology, Pasadena.

**) R. L. Mössbauer, Zeitschr. für Naturforschung 14a, 211 (1959).

J. BRUNNER (Lab. d. Zentralwerksverw. d. Siemens-Schuckertwerke AG, Nürnberg): *Der Halleffekt im inhomogenen Magnetfeld*.

Magnetfelder lassen sich mit Hilfe des Halleffekts nachweisen und messen. Aus der Hallspannung eines Hallgenerators kann man nur dann Rückschlüsse auf das Magnetfeld ziehen, wenn der Zusammenhang zwischen den das Feld bestimmenden Größen und der Hallspannung bekannt ist. Dies ist der Fall für homogene Magnetfelder. Für inhomogene Magnetfelder, deren Normalkomponente bezüglich des Hallgenerators in Längsrichtung des Hallgenerators linear verläuft, wird dieser Zusammenhang angegeben und mit dieser Beziehung der Fehler bei der Messung beliebig inhomogener Felder diskutiert.

DONNERSTAG, DER 28. APRIL 1960

Vormittag

Geschäftsversammlung der Mitglieder der Physikalischen Gesellschaft
in Bayern

Vorsitz: G. Hettner (München)

H. SCHLÜTER (MPI f. Phys. u. Astrophys., München): *Untersuchungen an einer Hochfrequenzapparatur mit statischem Magnetfeld*.

Ein 10-kW-Sender erzeugt Hochfrequenzentladungen im statischen Magnetfeld einer magnetischen Flasche. Das Entladungsgefäß von 6 cm ϕ und 50 cm Länge kann auf Höchstvakuum (10^{-10} Torr) ausgepumpt werden. Die Apparatur eignet sich für verschiedenartige Untersuchungen an Plasmen geringer Dichte (etwa 10^{13} Elektronen/cm³).

Für Wasserstoff liegen quantitativ auswertbare Aufnahmen der Balmerreihe vor, die störungsfrei hohe Balmerlinien, ihre Verschmelzung und das Rekombinationskontinuum zeigen. Die spektroskopischen Messungen werden mit anderen Messungen, z. B. Mikrowellenmessungen, verglichen.

Starke Ankopplungen des Senders an das Plasma ergeben sich bei Feldstärken des statischen Magnetfeldes, für die das geometrische Mittel aus

Ionen- und Elektronengyrationsfrequenz von der Größenordnung der Senderfrequenz ist. Eine theoretische Arbeit von Körper läßt bei dieser mittleren Gyrationsfrequenz Resonanzen erwarten, die bei hohen Stoßzahlen durch Dämpfungsverstimmungen verschoben werden. Messungen mit Wasserstoff und Deuterium bei verschiedenen Senderfrequenzen und Drucken stimmen mit den theoretischen Erwartungen überein.

L. BURSIA, F. LABUHN, E. REMY, K. WEINHARDT, S. WITKOWSKI (MPI f. Phys. u. Astrophys., München): *Messungen an einer toroidalen Gasentladung.* (Vorgetr. von S. Witkowski)

In einem Metalltorus von 1 m Durchmesser und 22 cm kleinem Durchmesser wurden Entladungen in Wasserstoff im Druckbereich von 10^{-1} bis 10^{-3} Torr durchgeführt. Die Kurzschlußströme über die Metallwand wurden durch eine Keramikauskleidung unterdrückt. Strom- und Spannungsverlauf der Entladung wurden in Abhängigkeit vom Druck und vom „stabilisierenden Feld“ untersucht. Die Änderungen der Magnetfeldkonfiguration während der Entladung wurden innerhalb und außerhalb des Torus mit Hallsonden und Spulen untersucht.

Es ergibt sich, daß durch die Auskleidung des Torus mit Keramik die maximale Stromstärke auf die Hälfte zurückgeht im Vergleich zu Entladungen ohne Keramik oder ähnlichen Anordnungen mit reinen Metallwänden. Die Messungen des magnetischen Feldes geben einen Einblick in die Feldverzerrungen durch stabilisierende Wandströme an den isolierten Flanschverbindungen des Torus.

H. OECHSNER (Phys. Inst. d. Univ. Würzburg): *Untersuchung eines Hochfrequenzplasmas mit Hilfe einer Sonde veränderlicher Fläche.*

Schwierigkeiten, die sich bei der Übertragung des bekannten Langmuir-schen Sondenverfahrens auf ein mittels Hochfrequenz erzeugtes Plasma ergeben, veranlassen uns, eine neue Sondenmethode vorzuschlagen. Dieses Verfahren bedient sich einer Sonde, deren ins Plasma tauchende Fläche definiert und meßbar geändert werden kann. An die Stelle der gewöhnlichen Strom-Spannungscharakteristik treten eine Strom- und eine Spannungsmessung in Abhängigkeit von der veränderlichen Sondenfläche. Aus diesen beiden Meßkurven lassen sich Plasmadichte, Elektronentemperatur und Potential bestimmen.

W. FRIE, H. MAECKER, A. MICHEL, H. MOTSCHMANN u. H. SCHINDLER (Forschungslab. d. Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen): *Optische und elektrische Messungen an einer linearen Stoßstromentladung durch Deuterium.* (Vorgetr. von A. Michel)

An Entladungen einer Stoßstrombatterie durch ein größeres zylindrisches Gefäß wurden bei verschiedenen Deuteriumdrucken Neutronen- und Röntgenimpulse gemessen und Untersuchungen des Querschnitts und der spektralen Zusammensetzung des Leuchtens, sowie der Stromdichte der Entladung als Funktion der Zeit und des Ortes vorgenommen. Zur Deutung der Beobachtungen werden qualitative Erklärungen gegeben, die durch modellmäßige Rechnungen gestützt werden.

A. HEISEN und J. WITT (II. Phys. Inst. d. Univ. München): *Zum Aufbau der Kanalstrahlentladung.* (Vorgetr. von J. Witt).

In Anlehnung an eine Dissertation von R. Plesch wurden in einem Glasrohr von 5.6 cm lichter Weite und 40 cm Elektrodenabstand an einer Entladung zwischen Aluminiumelektroden in Wasserstoff in einem Druckbereich von $3 \cdot 10^{-2}$ bis $13 \cdot 10^{-2}$ Torr Dunkelraumlänge, Pinselquerschnitt, Strom-Span-

nungscharakteristik und mit *Langmuir*-sonden die Kenngrößen des Entladungsplasmas gemessen. Hierbei ergab sich Folgendes: Die Länge des Kathodendunkelraumes und der Durchmesser des Ionenpinsels sind nur von Gasdruck und Entladungsgeometrie, jedoch nicht von Entladungsstrom und Entladungsspannung abhängig. Die Entladung gehorcht in Strenge den Ähnlichkeitsgesetzen, sofern der optisch gemessene Durchmesser des Ionenpinsels als effektiver Entladungsquerschnitt eingesetzt wird. Das Entladungsplasma entspricht dem Glimmlichtplasma einer anomalen Glimmentladung. Damit wird gezeigt, daß diese Kanalstrahlentladung bis zu Entladungsspannungen von 20 kV den Aufbau einer anomalen Glimmentladung hat.

Vorsitz: E. Krautz (Augsburg)

J. BRANDMÜLLER und E. W. SCHMID (Phys. Inst. d. Hochsch. Bamberg): *Molekülmodellrechnungen mit der PERM.* (Vorgetr. von J. Brandmüller)

Ein neues Rechenprogramm erlaubt neben den Valenz- und Deformationskräften auch die Wechselwirkungskräfte zu berücksichtigen. Mit diesem Programm und einem von *Whiffen* angegebenen Modell für das Benzolmolekül wurden Schwingungsfrequenzen und Schwingungsformen von einer ganzen Reihe von Benzolderivaten berechnet. Ferner wurden mit Hilfe von Modellrechnungen die Schwingungsspektren von Aethylenderivaten zugeordnet.

W. ZAHN (I. Phys. Inst. d. Univ. München): *Die Elektrostriktion von Dipolflüssigkeiten.*

Legt man an eine Flüssigkeit ein hochfrequentes, elektrisches Feld, so entsteht in ihr eine Ultraschallwelle. Diese kann zur Bestimmung der elektrostriktiven Druckkoeffizienten herangezogen werden. Die Ergebnisse zeigen, daß bei Dipolflüssigkeiten neben der Verschiebungspolarisation auch die Orientierungspolarisation eine elektrostriktive Kompression zur Folge hat, welche sich jedoch als etwas kleiner erweist, als sie nach der *Onsager*-Theorie zu erwarten wäre.

H. SCHÖBER, I. TANNHÄUSER und F. HEINRICH (Inst. f. med. Optik d. Univ. München): *Versuche zur Land'schen Zweifarben-theorie.* (Vorgetr. von H. Schöber)

Die Farbwiedergabe bei der Zweifarbenprojektion nach *Land* wurde an verschiedenen Testbildern untersucht. An Hand von Beispielen wurden die Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens diskutiert.

R. RÖHLER (Inst. f. med. Optik d. Univ. München): *Erfahrungen bei der Filterung räumlicher Frequenzen nach der Methode von Maréchal.* (15 min.)

Das von *Maréchal* angegebene Verfahren zur Verbesserung photographischer Bilder mit Hilfe der Filterung räumlicher Frequenzen wurde an verschiedenen Emulsionstypen erprobt. Es zeigte sich, daß das Verfahren nur für dünne, feinkörnige Emulsionen geeignet ist. Das Versagen bei anderen Emulsionen wird auf inkohärente Streuung in der Emulsion zurückgeführt.

E. HARTMANN (Inst. f. med. Optik d. Univ. München): *Neuere Untersuchungen zum Blendungsproblem.*

Die Meßeinrichtung wurde beschrieben und verschiedene Ergebnisse mitgeteilt und diskutiert.